

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

**Analýza provozních stavů aktivní nabíjecí stanice**

Analysis of operating states of active charge station

2011

Kateřina Barešová

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Kateřina Barešová**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

**Analýza provozních stavů aktivní nabíjecí stanice**  
**Analysis of operating states of active charge station**

Zásady pro vypracování:

1. Popište koncepci a principi činnosti aktivní nabíjecí stanice pro elektromobily.
2. Analyzujte činnost a provozní stavy měniče aktivní nabíjecí stanice.
3. Navrhněte počítačový model soustavy aktivní nabíjecí stanice.
4. V rozsahu dle pokynů vedoucího práce proveďte numerickou simulaci vybraných provozních stavů aktivní nabíjecí stanice.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.“

V Ostravě dne 5.5.2011

Kateřina Barešová  
Kateřina Barešová

**Poděkování**

Touto formou chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Petru Chlebišovi, CSc. za cenné rady, připomínky a vedení během celé doby tvorby této práce.

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá analýzou a modelováním elektrických poměrů aktivní nabíjecí stanice elektromobilů. V úvodu práce je proveden návrh obvodového schématu nabíjecí stanice s vlastní akumulací energie, tzv. aktivní nabíjecí stanice. Ze základní blokové struktury bakalářská práce analyzuje činnost vazebního střídače, který propojuje stejnosměrný zdroj v akumulátoru se střídavou sítí, ze které jsou nabíjeny elektromobily. V práci jsou provedena zjednodušení, na základě kterých jsou vytvořeny fázorové diagramy celé soustavy. Na základě těchto diagramů je proveden návrh velikosti základních prvků a je provedena simulace stavů celé soustavy v prostředí OrCad PSpice.

**Klíčové slova:**

Aktivní nabíjecí stanice, střídač, akumulátor, elektromobil.

**Abstract:**

This Bachelor thesis deals with analysis and modeling electrical proportions of electric car's active charging station. At the beginning of the thesis is proposed design for circuit scheme of charging station with its own energy storage also known as active charging station. In basic block structure the thesis analyzes operation of coupling inverter that connecting DC supply in accumulator with AC grid from which the electric cars are recharging. There are also simplifications on which the phasor diagrams are created. Based on these diagrams is made proposal for dimensions of each basic elements. In the end is executed the simulation of entire system in OrCad PSpice.

**Key words:**

Active charging station, inverter, accumulator, electric car.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

A	Ampér (jednotka proudu)
$C_{aku}$	Kapacita akumulátoru aktivní nabíjecí stanice
$C_{auto\ aku}$	Kapacita akumulátoru vozidla
f	Frekvence
Hz	Hertz (jednotka kmitočtu)
I	Proud
$I_{1, 2, 3}$	Fázové proudy obecně
$i_{fa, fb, fc}$	Fázové proudy aktivní nabíjecí stanice
Im	Imaginární osa
$I_{N2}$	Jmenovitý proud sekundáru transformátoru
$i_{sa, sb, sc}$	Fázové proudy sítě
$I_{síť}$	Proud sítě
$I_{STR}$	Proud střídače
$I_{ZÁT}$	Proud zátěže
kHz	Kilohertz
kW	Kilowatt
L	Indukčnost
$L_f$	Filtrační cívka
$L_s$	Síťové reaktance aktivní nabíjecí stanice
PWM	Pulsně šířková modulace
$R_{1, 2, 3}$	Odpor
Re	Reálná osa
$R_{S1, S2, S3}$	Odpory v síti
$R_{ZÁT, 1ZÁT, 2ZÁT, 3ZÁT}$	Odpory zátěže
$S_{1, 2, 3, 4, 5, 6}$	Vypínatelné polovodičové součástky
$S_N$	Zdánlivý jmenovitý výkon transformátoru
t	Čas
U	Napětí
$U_{1, 2, 3}$	Fázová napětí obecně
$U_{2N}$	Sekundární jmenovité napětí transformátoru
$U_{aku}$	Napětí akumulátoru aktivní nabíjecí stanice
$U_{auto\ aku}$	Napětí akumulátoru vozidla
$U_D$	Napájecí napětí
$U_K$	Napětí nakrátko
$u_{k\%}$	Procentní napětí transformátoru nakrátko
$U_{síť}$	Napětí sítě
$U_{STR(1), STR(2), STR(3)}$	Napětí střídače
$U_{ZÁT}$	Napětí zátěže
V	Volt (jednotka napětí)
$VR_{1-6}$	Usměrňovací diody

$X_L$	Reaktance indukčnosti
$X_{Lf}$	Reaktance filtrační cívky
$Z_K$	Zkratová impedance
$\delta$	Fázový posuv
$\delta_{síť}$	Fázový posuv napětí v síti
$\delta_{STR(1)}$	Fázový posuv napětí střídače
$\Delta U_{R(síť)}$	Úbytek napětí na odporu sítě
$\Delta U_{XL(síť)}$	Úbytek napětí na reaktanci sítě
$\Delta U_{XLf}$	Úbytek napětí na reaktanci filtrační tlumivky
$\pi$	Ludolfovo číslo, úhel $180^\circ$ vyjádřených v radiánech
$\varphi_{(1)}$	Fázový posuv mezi napětím a proudem na 1. harmonické
$\psi$	Programový úhel („řídící úhel“)

---

**Obsah**

1. Úvod.....	9
2. Koncepce aktivní nabíjecí stanice.....	10
2.1 Současný stav.....	10
2.2 Aktivní nabíjecí stanice.....	14
2.3 Základní části aktivní nabíjecí stanice.....	15
3. Provozní stavy aktivní nabíjecí stanice.....	19
3.1 Linearizovaný model.....	20
3.2 Vektorové diagramy provozních stavů.....	20
3.3 Výpočet výchozích veličin vektorového diagramu.....	21
4. Výsledky simulací.....	24
4.1 Střídač s $\psi=\pi$ .....	25
4.2 Aktivní nabíjecí stanice.....	30
5. Závěr.....	34
6. Použitá literatura.....	35



## 1. Úvod

Elektromobilita je velkou výzvou 21. století. Koncept elektromobility nabízí komplexní řešení podpory rozvoje elektromobilů včetně vybudování potřebné infrastruktury [5]. Elektromobil jako prvek by měl tedy plnit tu funkci, že by odlehčil ekologické situaci na území velkoměst. Nejbližším cílem je postupně dosáhnout, aby se elektromobily dokázaly prosadit jako doplňkové vozidlo k vozidlům s klasickými spalovacími motory. Elektromobilita může mít v blízké budoucnosti velký význam zejména pro řešení městské dopravy. Klíčovými odvětvími v konceptu elektromobility jsou výrobci baterií, výrobci elektromobilů, uživatelé a distributoři elektřiny. Současný stav v České republice je pro elektromobilismus dosud spíše charakteristický amatérským přístupem nadšenců a tomu odpovídá i počet provozovaných vozidel. Malému počtu elektromobilů odpovídá také nízká hustota nabíjecích stanic.

Jednou ze zásadních podmínek pro větší rozšíření elektromobilů bude především vybudování dostatečně kvalitní infrastruktury nabíjecích stanic. Současné nabíjecí stanice podmínkám hromadného využití elektromobilů nevyhovují.

Základním pozitivním rysem provozu elektromobilů je možnost akumulace elektrické energie pro dopravu v době, kdy je elektrické energie v síti „dostatek“, což nastává obvykle v nočních hodinách a její využívání v denních hodinách, kdy obvykle distribuční elektrická síť prožívají období odběrových špiček. Pozitivní je také to, že v době dopravních špiček elektrická vozidla nezhoršují již tak dost vypjatou emisní situaci ve velkoměstech.

Ozývají se však také hlasy, že pokud by došlo k masivnímu rozšíření elektromobilů, nestačila by jak stávající kapacita energetických zdrojů velkoměst, tak dimenzování rozvodů distribučních sítí. Sítě veřejných nabíjecích stanic by tak proto nemohly pracovat jako pasivní odběrové body sítě, protože stávající síť na to nejsou dimenzovány a jejich posilování je ve velkoměstech spojeno se značnými investicemi i komplikacemi.

Jedním z možných řešení je využití koncepce aktivních nabíjecích stanic, které mohou podpořit nejen rozvoj elektromobility bez navyšování přípojného výkonu sítě, ale při masovém rozšíření mohou přispět také ke zrovnoměnění odběru elektrické energie z distribuční elektrické sítě.

Bakalářská práce se zabývá modelováním základních stavů, které mohou při provozu aktivní nabíjecí stanice nastat.

## 2. Koncepce aktivní nabíjecí stanice

Pro vytvoření koncepce aktivní nabíjecí stanice je nezbytné se zamyslet nad stávajícím stavem sítě pro nabíjení elektromobilů a tento stav konfrontovat s výhledem, který je naznačován nejen státníky a politiky různých zemí, nebo EU, ale i deklaracemi představitelů automobilového průmyslu na straně jedné, nebo energetických společností na straně druhé.

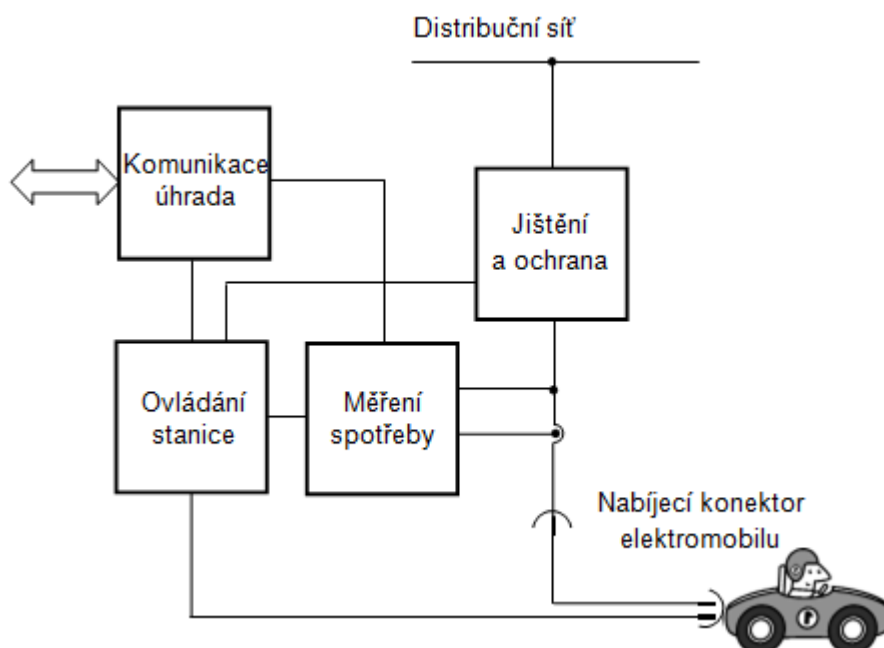
Jeden ze směrů pro další rozvoj energetiky České republiky je proto spojen s větším využíváním akumulace energie. V elektrických sítích je uvedena snaha zřejmě spojená s řešením problémů, které vznikly po masivním rozšíření fotovoltaických elektráren. Tyto elektrárny mohly svými špičkovými dodávkami do sítě způsobit její nestabilitu.

### 2.1 Současný stav

V České republice je zatím v provozu přibližně kolem 200 elektromobilů, část vlastní firmy a část nadšenci elektromobility [7]. Z dostupných informací je v současnosti na území České republiky kolem padesáti veřejně dostupných nabíjecích míst. Jejich počet se však neustále zvyšuje. Zatím většina těchto stanic poskytuje jednofázovou síťovou zásuvku na 230 V / 16 A, nebo trojfázovou zásuvku 3 x 400 V / 32 A, což představuje možnost nabíjení s výkony cca 3 až 20 kW [12]. Z tohoto vyplývají také různě dlouhé nabíjecí doby.

V současné době je stále ještě více rozšířena síť amatérsky nabíjecích stanic, které se provozují víceméně na principu vzájemné výpomoci amatérských provozovatelů elektromobilů. Zcela veřejných nabíjecích stanic je minimum, jsou jen výjimky v rámci některých obchodních center například v Brně nebo v Praze a ojedinělé případy veřejných nabíjecích stanic, které se budují poblíž klasických benzínových stanic [12].

Tento stav není možné prodlužovat dále, a jak ukazují průzkumy, je pro rozšíření elektromobility zapotřebí vybudovat veřejné napájecí stanice, které budou obsluhovány na základě kreditních karet, nebo jiných prostředků pro úhradu odebrané energie. Proto struktura této napájecí stanice musí také obsahovat zařízení, které umožní úhradu odebrané energie, nebo načerpání potřebného „kreditu“, po jehož vyprázdnění stanice samovolně napájení vypne. Bloková struktura takové napájecí stanice je na obrázku 2.1.



**Obr. 2.1** Blokové schéma nabíjecí stanice současnosti

Typické řešení současné veřejné napájecí stanice obsahuje standardní síťový přívod z distribuční sítě se samostatným jištěním vývodu s jističem a prvky ochrany před úrazem elektrickým proudem laické obsluhy (např. řidiče vozidla), např. pomocí proudového chrániče a blokování napájení konektoru. Jak již bylo uvedeno, řešení stanice musí odpovídat požadavkům předpisů a norem pro bezpečný odběr energie se vším potřebným jištěním, ochranami a mechanickému zajištění proti rozpojení obvodu pod zatížením. Dále musí nabíjecí stojan umožňovat měřit odebranou elektrickou energii, tzn., že v této stanici se musí vyskytovat elektroměr, případně zařízení, které po dosažení určitého limitu vypne nabíjení vozidla. Dále samozřejmě musí být v případě používání různých typů kreditních karet, nebo jiných prostředků tato nabíjecí stanice vybavena komunikačním rozhraním, které umožňuje propojení s bankovním sektorem, podobně jak to známe z obchodu při platbách bankovní kartou. V neposlední řadě musí být tato stanice vybavena normalizovanou zásuvkou, případně normalizovaným kabelem, kterým se připojuje vozidlo k této veřejné nabíjecí stanici.

Z pohledu spotřebitele je zapotřebí, aby nabíjecí stanice byly k dispozici všude tam, kde budou elektrovozidla parkovat [8].

Předpokladem pro pohodlné a bezpečné nabíjení akumulátoru elektrovozidla je vedle existence odpovídající infrastruktury také jednotný systém nabíjecích konektorů, které zajistí vzájemnou kompatibilitu mezi vozidly a nabíjecími stojany. Tento konektorový systém musí zajistit, aby si zákazník byl schopen natankovat sám bez dozoru obsluhy s potřebnou elektrotechnickou kvalifikací.

Požadavky na konektory, jako nutné předpoklady pro elektromobilitu v celém evropském prostoru je definována mezinárodní normalizací konektorových systémů v IEC 61851 (idt ČSN EN 61851 Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením). [8]

Návrh zmíněné normy splňuje tyto požadavky:

- je vhodný pro nabíjecí proudy 16 až 63 A, resp. nabíjecí výkony 3,7 až 44 kW,
- je vhodný pro jedno - a třífázové přípojky,
- umožňuje duplexní (obousměrný) přenos energie (dodávka a odběr energie),
- dává možnost datové komunikace s vozidlem.

K těmto základním požadavkům se váží další, zajišťující především bezpečnost zákazníka při procesu nabíjení zejména s ohledem na:

- ochranu před neúmyslným a neoprávněným odpojením během nabíjení,
- zajištěním, že konektor v nepropojeném stavu bude bez napájení.

První podmínka je splněna mechanickým blokováním, které zajistí, že během nabíjení nedojde k rozpojení konektorového spoje. Toto blokování se aktivuje automaticky při spuštění nabíjení a odblokuje se teprve tehdy, až ukončí sám uživatel nabíjecí proces. Elektrické blokování tak vždy zajišťuje beznapěťový stav zásuvky do okamžiku, než je mezi nabíjecí stanicí a elektrovozidlem vytvořeno vodivé spojení. Tímto způsobem se u konektorů jak vyloučí nebezpečí úrazu elektrickým proudem, tak nebude docházet k připojování a odpojování elektrovozidla při zatížení.

U nabíjecích stanic také musí být zajištěna pasivní bezpečnost. Obecně musí nabíjecí stanice splňovat tyto minimální požadavky s ohledem na pasivní bezpečnost:

- musí být bezpečné při manipulaci,
- musí zamezovat zásahu neoprávněných osob,
- musí umožňovat uživateli bezpečnou obsluhu při nabíjení. [8]

V současnosti existuje na trhu řada výrobců, většinou z řad nadnárodních společností, které již mají zkušenosti s budováním nabíjecích stanic v zahraničí. Na následujícím obrázku lze vidět příklad nabíjecí stanice vídeňské energetické společnosti, kterou realizovala společnost Schrack.



**Obr. 2.2** Příklad prostorového řešení pasivní nabíjecí stanice současnosti [4]

Na elektrotechnickém veletrhu AMPER 2011 v Brně vystavovala společnost ABB nabíjecí stojan pro rychlonabíjení elektromobilů s výstupním nabíjecím výkonem až 200 kW, který však odebíral

ze sítě 3x400V fázový proud cca 320 A, při výstupním stejnosměrném proudu až 500 A. Je zřejmé, že umístění takové stanice bude zřejmě vyžadovat značné posílení distribuční elektrické sítě.

Jestliže se předpokládá, že podle různých výhledů by mělo být v provozu ve státech Evropské unie zhruba kolem roku 2020 deset až patnáct procent, v některých případech optimistické zprávy hovoří až o dvaceti procentech, elektromobilů z celkového počtu vozidel, znamená to, že celková infrastruktura sítě by byla zatěžována dalším segmentem odběratelů elektrické energie - elektromobily. Jejich provozovatelé – řidiči jsou místně nezávislí odběratelé elektrické energie. Jejich nezávislost spočívá v tom, že nemohou být nějakým způsobem přímo, nebo direktivně ovlivňováni kde a jak si mají vozidlo nabít. S vozidlem jako mobilním prostředkem se mohou pohybovat v různých oblastech a rovněž i nabíjení může být uskutečněno v různých lokalitách.

V tomto ohledu je působení elektromobilů na síť poněkud negativní, tzn., je třeba si uvědomit, že při použití pasivních stanic může dojít i k náhodnému lokálnímu navýšení zatížení napájecí sítě, tzn., že v souvislosti s výstavbou sítě veřejných nabíjecích stanic by muselo dojít k posílení kabelových tras a k posílení rozvodů elektrické energie.

Velice vhodné se jeví začlenění nabíjecích stanic do tzv. chytrých sítí Smart Grids, kterou uvádí do života energetická společnost ČEZ ve Vrchlabí jako předetapu realizace přeměny distribuční sítě ve Smart Regionu. Společnost ČEZ, energetická společnost E.ON a energetická společnost RWE si stanovily společný cíl - vybudovat podmínky pro infrastrukturu elektromobility v České republice. Každá z těchto společností řeší své projekty ohledně vybudování infrastruktury vybudováním více nabíjecích stanic, testování jejich provozu, funkce dobíjení spolu s dojezdem elektromobilů, ale také způsoby měření odebrané elektřiny.

Nevýhodnou vlastností pasivních nabíjecích stanic je i to, že vozidla mohou být napájena i ve špičkách denního diagramu zatížení energetické sítě, čímž vlastně dojde k ještě většímu prohloubení nerovnoměrnosti odběru elektrické energie v průběhu dne.

Z tohoto pohledu tak jedna z výhod elektromobilů, za kterou se považuje jejich schopnost akumulace, tzn., získání elektrické energie ze sítě v době, kdy je jí v síti přebytek a využití v době kdy je v síti energie nedostatek, může mít vážný dopad právě z důvodu dalšího přetěžování elektrické sítě v době odběrových špiček.

Druhou nevýhodou pasivních nabíjecích stanic je to, že nabíječe elektromobilů nejsou spotřebiče, které by se vzhledem k síti chovaly lineárně. V automobilech jsou většinou využívány nabíječe na bázi spínaných zdrojů, což znamená, že tyto nabíječe odebírají ze sítě zdeformovaný proud, který není v žádném případě sinusový. Tento zpětný vliv se na tvaru síťového napětí promítá již dnes z důvodu použití velkého množství různých typů spínaných zdrojů. V tomto směru musí rovněž dojít k nápravě, aby nedošlo k dalšímu zhoršování poměru v energetické síti.

Třetí nevýhoda spočívá v předpokládaném geografickém rozložení stanic. Jako příklad můžeme uvést to, že vozidla obyvatel, kteří se pohybují v rámci některých velkoměst nebo průmyslových center se v nočních hodinách rozmístí na okrajích této lokality nejčastěji v bydlištích provozovatelů elektromobilů, což sebou žádné energetické problémy nepřináší.

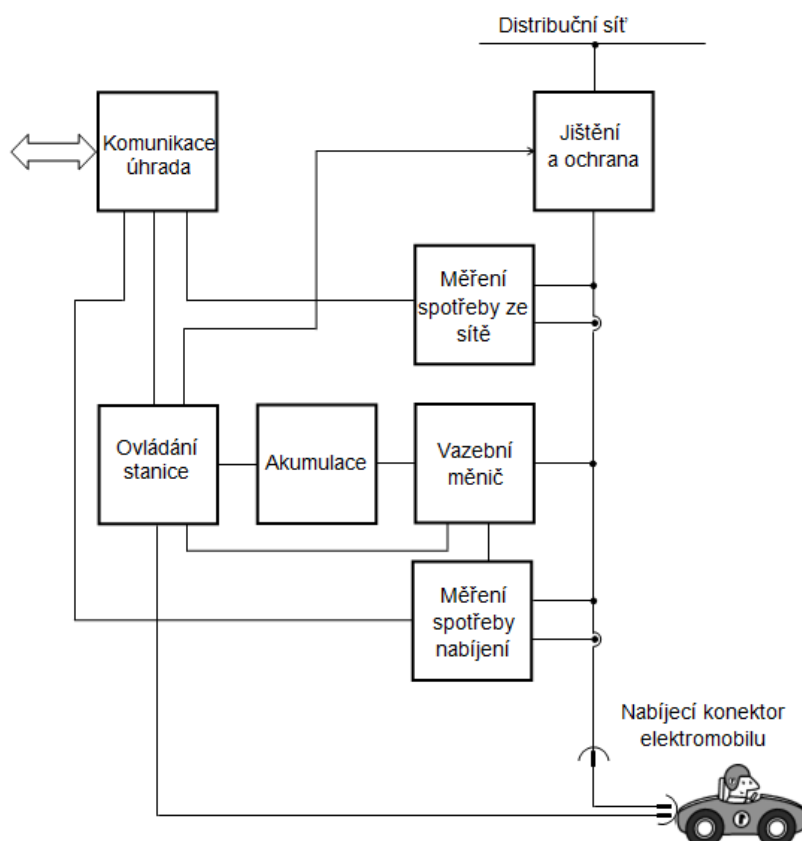
Naopak, přes den, kdy se tito obyvatelé budou pohybovat v blízkosti svých pracovišť, se dá předpokládat, že elektromobily budou nabíjeny, resp. centrálně dobíjeny na teritoriu daného velkoměsta a že tudíž další dobíjení, které nastane v průběhu dne se „zhustí“ na podstatně menší geografickou plochu někde v teritoriu velkoměsta. Toto rozmístění i jeho dopad je ve značné míře

náhodný. Bude záviset na chování majitelů elektromobilů (zákazníků) a tudíž může i tento efekt způsobovat problémy s dodávkami energie z distribuční sítě ostatním připojeným spotřebitelům v dané lokalitě.

## 2.2 Aktivní nabíjecí stanice

Z výše uvedených nevýhod vyplývá, že bude-li pevně umístěná nabíjecí stanice elektromobilů doplněná zařízením pro akumulaci elektrické energie (akumulátory, ultrakapacitory), může přispívat ke stabilitě chodu distribuční elektrické sítě. V tomto případě hovoříme o tzv. aktivních nabíjecích stanicích.

Tato stanice, která je doplněna zařízením pro akumulaci elektrické energie, je vázána na určitou lokalitu a tím může v této lokalitě přispívat ke stabilitě poměrů v energetické síti. Funkce aktivní nabíjecí stanice bude spočívat v tom, že v době kdy je v síti přebytek energie může být nabíjeno vozidlo, v okamžiku kdy již akumulátor vozidla bude nabitý na maximum, se elektromobil odpojí a energie ze sítě se bude ukládat do akumulátoru aktivní nabíjecí stanice. Schéma takové aktivní nabíjecí stanice je na obrázku 2.3.

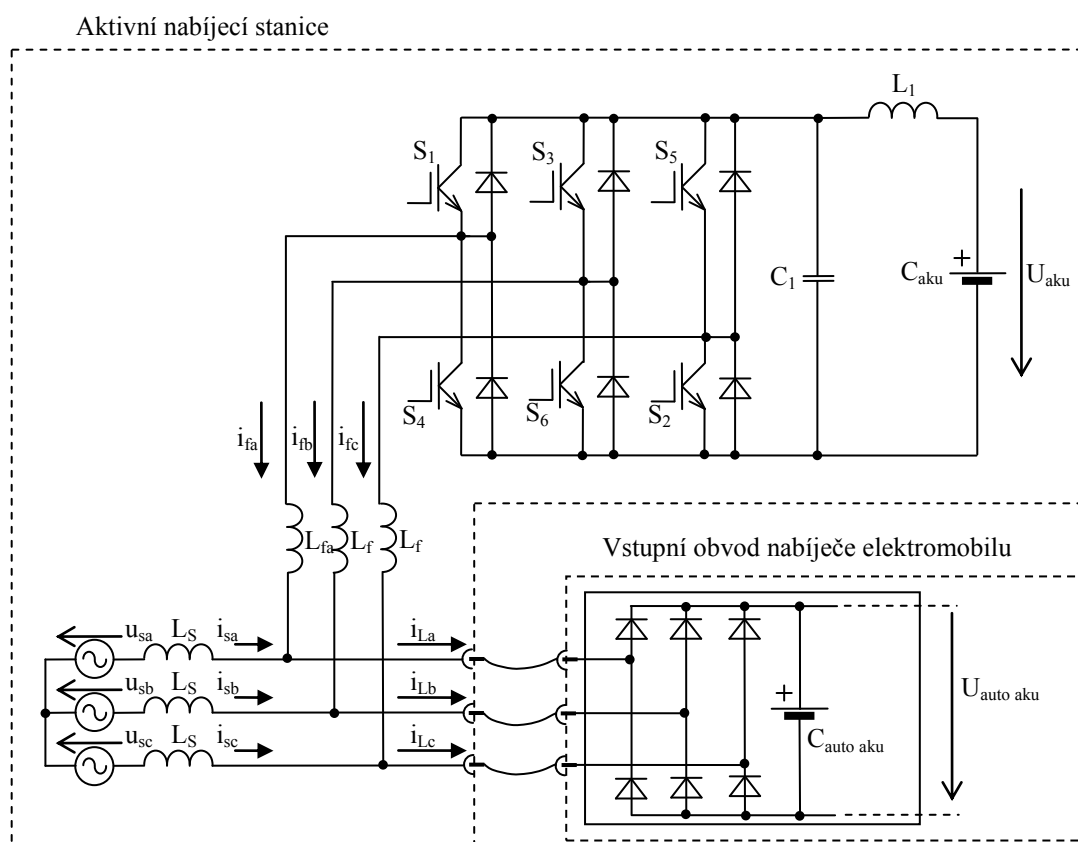


**Obr. 2.3** Blokové schéma aktivní nabíjecí stanice

Další výhodou této aktivní nabíjecí stanice bude to, že vazební měnič, v našem případě reverzibilní střídač, může do značné míry kompenzovat nepříznivé zpětné vlivy nabíječe elektromobilu a samozřejmě energie, která je uložena v aktivní nabíjecí stanici může později posloužit pro dobíjení dalších vozidel v době energetické špičky bez nároku na další zatížení sítě.

V tomto smyslu se tedy může akumulční kapacita aktivních nabíjecích stanic, která je rozmístěna plošně např. na území velkoměsta jevit jako výrazný stabilizační prvek sítě, protože v době špičky nebude zvyšovat zatížení sítě a v nočních hodinách může zajistit nabíjení akumulátoru nabíjecí stanice, případně ještě přidat nabíjení elektromobilu, pokud bude připojen.

Bakalářská práce analyzuje režimy činnosti takové nabíjecí stanice.



**Obr. 2.4** Výkonové schéma aktivní nabíjecí stanice

## 2.3 Základní části aktivní nabíjecí stanice

### Elektrická síť

Elektrická síť je soubor jednotlivých vzájemně propojených zdrojů elektrické energie, elektrických stanic, venkovních a kabelových vedení určených pro přenos a rozvod elektrické energie [13].

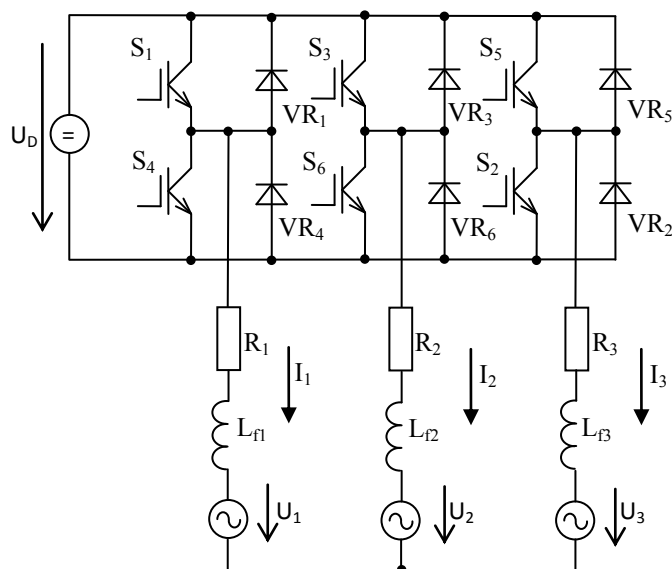
Jmenovité napětí je napětí, jímž je síť nebo zařízení označena a ke kterému se vztahují určité pracovní charakteristiky [13]. Elektrická energie se u nás v distribučních soustavách standardně přenáší soustavami 3 x 400 V / 230 V, 50 Hz, v průmyslových sítích se využívají také rozvody 3 x 500 V, 50 Hz s izolovaným uzlem [2].

Řešení v rámci této práce bude uvažovat se soustavou 3 x 400 V / 230 V.

Pro analýzu poměrů provozních stavů nabíjecích stanic nás budou zajímat elektrické parametry napájecí sítě. V této souvislosti potřebujeme stanovit její reaktanci a případně odpor v místě připojení. Tyto parametry nejsou v elektrických distribučních sítích neznámé. Většinou se určují ze zkratových parametrů v místě připojení. Elektrickou distribuční síť si z pohledu náhradního schématu můžeme představit jako soubor generátorů, které paralelně spolupracují do sítě a tudíž jejich náhradní veličiny, zejména náhradní odpor a náhradní reaktance jsou potom započteny do parametrů sítě. V místě připojení má však obvykle rozhodující vliv napájecí transformátor, který v daném místě sítě určuje v převážné míře reaktanční podmínky. Zkratovou reaktanci lze určit buď z napětí nakrátko z přípojného transformátoru, případně lze tuto reaktanci vypočítat ze zkratového výkonu, který je v místě připojení obvykle známý. Dané údaje nám obvykle poskytuje provozovatel distribuční sítě. Co se týká odporu, kterým budeme nahrazovat vlastnosti sítě, tento odpor reprezentuje především činné odpory kabeláže, případně činné odpory vinutí transformátoru v daném místě. Technici distribuční společnosti jej obvykle pro dané místo umí stanovit.

### **Střídač a jeho pracovní režimy**

Základ propojení mezi trojfázovou střídavou sítí a stejnosměrnou akumulací tvoří třífázový střídač. Pod pojmem střídač si představujeme polovodičový měnič, který přeměňuje stejnosměrnou energii na střídavou. Tato přeměna je prováděna impulsním způsobem s využitím moderních polovodičových součástek, které řadíme do kategorie spínačů s vlastní komutací. Proto střídač patří do skupiny měničů s vlastní komutací. Základní schéma zapojení střídače je na obr. 2.4.



**Obr. 2.4** Schéma trojfázového střídače



Střídač se skládá z šesti vypínatelných součástek ( $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ ) a šesti usměrňovacích diod ( $VR_1, VR_2, VR_3, VR_4, VR_5, VR_6$ ), které spolu vzájemně tvoří diodový usměrňovač. Díky těmto diodám může usměrňovač pracovat jako měnič napětíového typu, tzn., že umožňuje chod střídače s induktivní a smíšenou zátěží (odběr jalového výkonu zátěží) a tzv. usměrňovačový režim střídače. Vypínatelnými součástkami mohou být různé typy tranzistorů nebo vypínatelných tyristorů, nejčastěji jsou pro tyto aplikace v oblasti středních výkonů využívány tranzistory IGBT (viz obr. 2.4).

Velkou výhodou tranzistorů IGBT je, že je lze napětíovým signálem nejen zapnout, ale i vypnout (tyristor potřebuje vypínací obvod) a že mohou dosahovat poměrně velkých spínacích frekvencí (až desítky kHz).

Střídač převádí stejnosměrné napětí na střídavé. Střídač může být zapojen jak v jednofázovém, tak ve trojfázovém zapojení. Princip trojfázového střídače lze nejlépe vysvětlit na funkci s řízením při programovatelném úhlu  $\psi=\pi$ . Je to nejjednodušší způsob řízení, při kterém spínače logicky sledují polaritu výstupního napětí trojfázové napětíové soustavy. Sepnutí spínače v některé fázi v horní skupině spínačů odpovídá kladné polaritě výstupního fázového napětí této fáze, záporné polaritě fázového napětí odpovídá sepnutí spínače v odpovídající fázi v dolní skupině spínačů. Šest vypínatelných součástek se tak spíná s intervalem sepnutí elektrického programovatelného úhlu  $\psi=\pi$ .

Jsou-li intervaly sepnutí jednotlivých součástek rovny hodnotě  $\pi$ , jsou vždy sepnuty současně tři součástky.

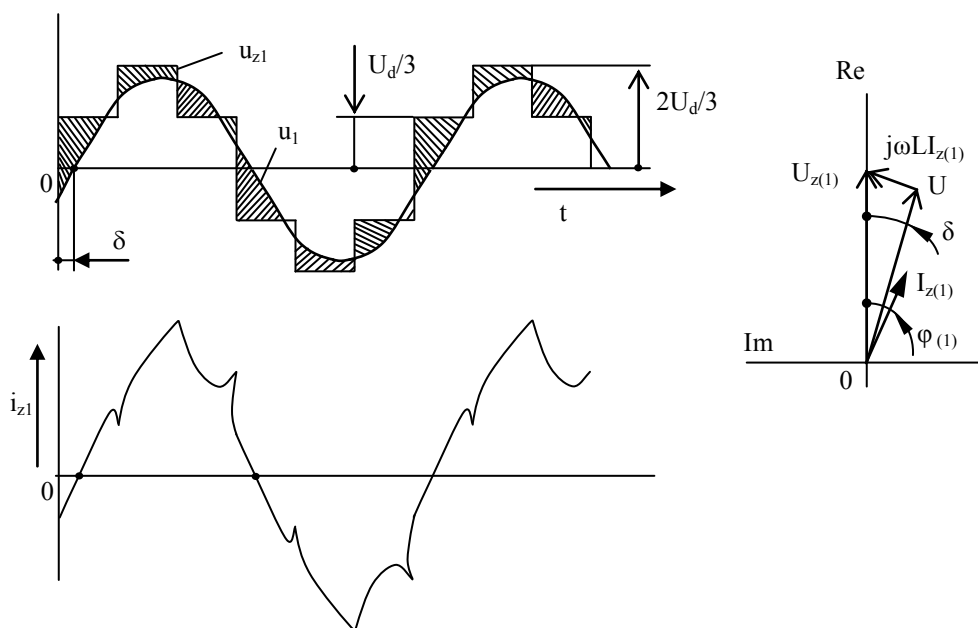
Zmíněné řízení s programovým úhlem  $\psi=\pi$  tvoří základ pro vyšší stupně řízení střídačů, což jsou tzv. šířkově pulsní modulace (PWM). Pro jednoduchost a vysvětlení režimů střídače zatím zůstaneme u tohoto základního způsobu řízení, kterým lze nejlépe demonstrovat spolupráci střídače se soustavou, která má silně vyjádřené napětí v zátěži. Takovou zátěží může být např. střídavý motor, ale i elektrická síť.

U řízení  $\psi=\pi$  předpokládáme, že nelze měnit amplitudu výstupního napětí, neboť ta je pevně vázaná s hodnotou stejnosměrného napájecího napětí střídače  $U_D$ . Stejnosměrná strana střídače je připojena na zdroj napětí, kterým je buď akumulátorová baterie, nebo usměrňovač s velkou filtrační kapacitou. Střídačem se uzavírá proud pokud je současně sepnuta alespoň jedna součástka z katodové skupiny a alespoň jedna součástka z anodové skupiny. Je nepřípustné sepnout najednou součástky jedné fáze, protože by došlo ke zkratu zdroje.

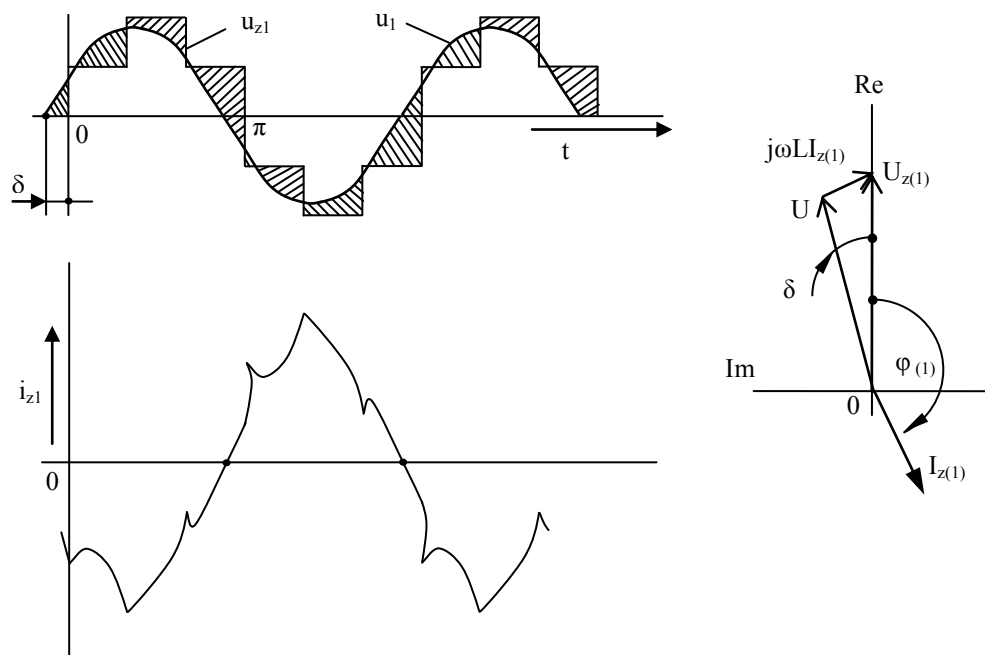
Základní stavy střídače, který pracuje se zátěží s napětíovým zdrojem jsou uvedeny na obrázcích 2.5 a 2.6.

Protože výstupní napětí střídače má obdélníkový (neharmonický) tvar, musíme si pro další analýzy, zejména při tvorbě vektorových diagramů, toto napětí nahrazovat jeho 1. harmonickou.

Vzájemný posuv napětí střídavého v zátěži a první harmonické nám tedy určuje, kterým směrem bude protékat proud. Jeho okamžitý stav však je určován okamžitými rozdíly mezi první harmonickou střídavého napětí v zátěži a okamžitými hodnotami výstupního napětí střídače.



**Obr. 2.5** Poměry v soustavě při střídačovém chodu střídače



**Obr. 2.6** Poměry v soustavě při usměrňovačovém chodu střídače

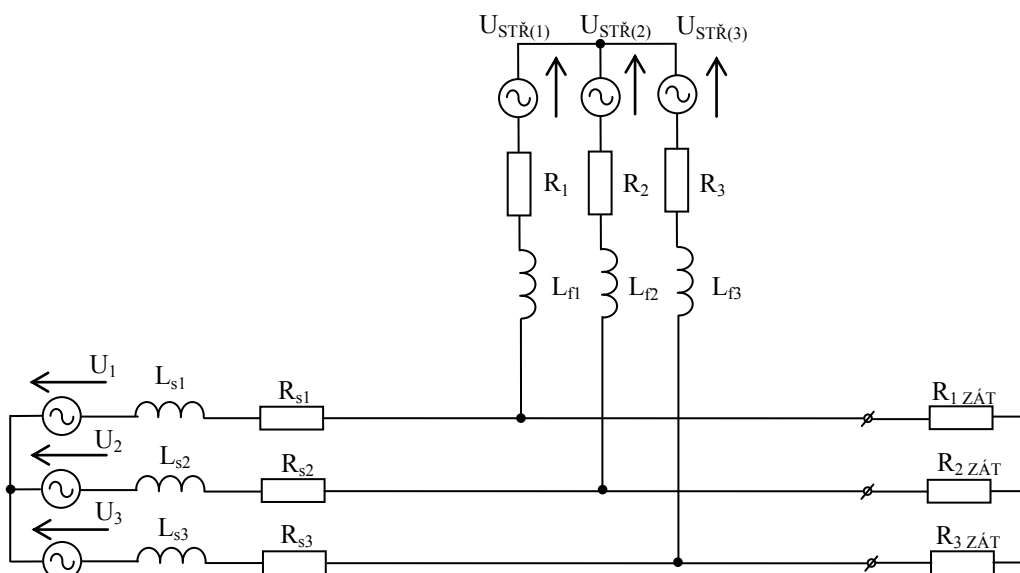
Podobnou situaci si můžeme představit při aplikaci v akumulacích stanicích při připojení střídače, který má řízení synchronizované na síťový kmitočet 50 Hz a k síti je připojen vazební (také filtrační) cívku  $L_f$  musí být střídač svázán s napětím sítě.

V případě, že dojde ke stavu, kdy napětí v zátěži je zpožděno za první harmonickou výstupního napětí střídače, stává se, že v každém časovém okamžiku je napětí střídače vyšší než napětí v zátěži, tudíž energie prostupuje ze střídače do zátěže (nebo do sítě) a jak vyplývá z obrázku, proud je v tomto případě zpožděn o malý fázový úhel za napětím.

Oproti tomu v případě, kdy napětí ve střídavé zátěži bude předbíhat první harmonickou napětí střídače, dojde k tomu, že v každém časovém okamžiku bude okamžitá hodnota sinusovky napětí zátěže vyšší, než jsou hodnoty napětí střídače, tím pádem dojde k obrácenému toku proudu a předávání energie ze střídavé zátěže zpět do stejnosměrného zdroje. Při tomto režimu jsou více než spínače namáhány zpětné diody a v podstatě energie nám putuje do stejnosměrného zdroje prostřednictvím těchto zpětných diod.

### 3. Provozní stavy aktivní nabíjecí stanice

Poněkud složitější situace nastane v případě zapojení celého schématu aktivní napájecí stanice. Pro zjednodušení si již střídač nahradíme třífázovým napětňovým zdrojem 1. harmonické. Tomuto předpokladu se bude přibližovat nejvíce stav, kdy u střídače použijeme některou z vyspělých metod řízení střídačů, např. pulsně šířkovou modulaci, nebo jiné druhy modulovaných řízení. Reálná vazební cívka je v jednotlivých fázích nahrazena jejím sériovým odporem  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  a její vlastní indukčností  $L_{f1}$ ,  $L_{f2}$ ,  $L_{f3}$ . Další významné zjednodušení spočívá v tom, že si nelineární zátěž (nabíječ elektromobilu), která bude nejčastěji tvořena diodovým usměrňovačem s filtračním kondenzátorem na výstupu, nahradíme lineárním odporem. Jinak bychom museli uvažovat i s neharmonickým proudem zátěže a konstrukce vektorových diagramů by se velmi zkomplikovala.

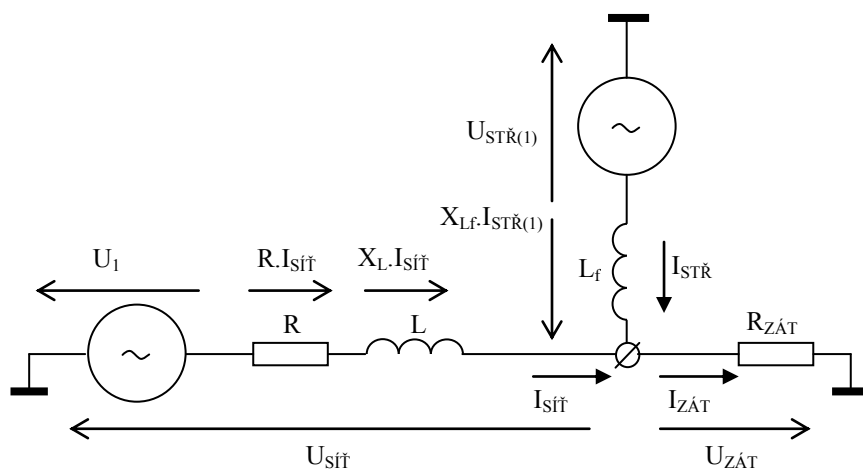


**Obr. 3.1** Náhradní schéma trojfázové aktivní nabíjecí stanice

### 3.1 Linearizovaný model

Pro tvorbu vektorových diagramů v další části je vhodné nahradit celou soustavu jednofázovým náhradním schématem obr. 3.2. Toto náhradní schéma bude platit za předpokladu symetrie všech fázových zdrojů, reaktancí i zátěže, což umožňuje vztáhnout pomyslně všechny zdroje ke společné zemní svorce (včetně 1. harmonické výstupního střídače, což je ve skutečnosti možné jen při symetrickém stejnosměrném napájení střídače).

Za této situace můžeme vektorový diagram kreslit např. pro první fázi. Napětí  $U_I$  pomyslně reprezentuje ideální napětí sítě,  $U_{sitr}$  představuje reálné napětí na připojených svorkách sítě s respektováním úbytků reaktancí a odporu sítě. Jak ukazují následné výpočty, toto napětí můžeme s dostatečnou přesností považovat za neměnné



Obr. 3.2 Náhradní jednofázové lineární schéma aktivní nabíjecí stanice

### 3.2 Vektorové diagramy provozních stavů

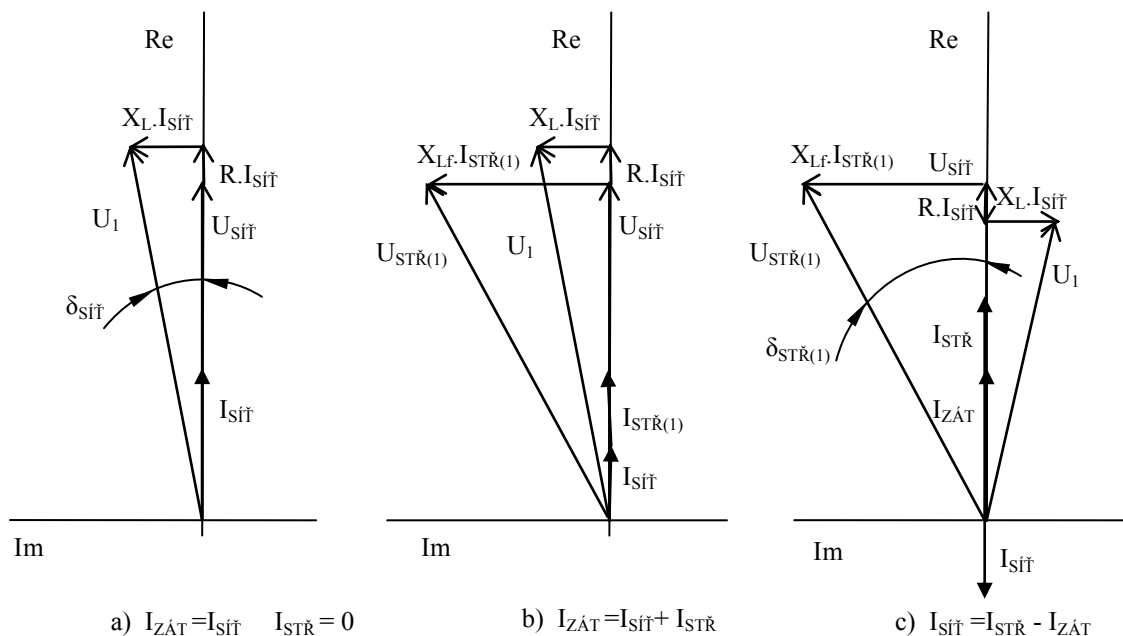
Celkovou situaci s tokem energie a poměry v soustavě si můžeme vyjasnit pomocí vektorových diagramů. Vektorové diagramy jsou zjednodušením situace z obr. 2.5 a 2.6. Předpokládá se, že ze sítě budeme odebírat energii s  $\cos\varphi=1$ . Tomu odpovídá i náhradní odporová zátěž. Jak vyplývá z náhradního schématu na obr. 3.2 musí v uzlu platit:

$$I_{sitr} + I_{ZAT} + I_{STR(1)} = 0 \quad (3.1)$$

Obrázek 3.3 si rozdělíme do tří stavů:

- obrázek a) *Stav nabíjení ze sítě* – u pasivní stanice se předpokládá, že střídač nepracuje, takže veškerý proud zátěže (nabíjecí proud) je dodáván sítí.
- obrázek b) *Stav nabíjení s podporou akumulace* – již střídač přispívá proudem své první harmonické, takže výsledný proud zátěže při nezměněném napětí sítě je dán algebraickým součtem proudu sítě a střídače. Odběr ze sítě je snižován, síť je odlehčována.

- obrázek c) *Dodávka akumulované energie do sítě* - příspěvek proudu střídače je tak velký, že převyšuje odběr proudu zátěže a tudíž část proudu protéká s opačným znaménkem do sítě. V případě, že bude zátěž odpojena, bude veškerý proud střídače protékat do sítě a střídač bude pracovat v usměrňovačovém režimu podobně jako na obr. 2.6.



**Obr. 3.3** Vektorové diagramy stavů aktivní nabíjecí stanice

Podmínkou je, že řízení střídače bude pracovat tak, aby se vektory sčítaly algebraicky. V případě, že tomu tak nebude, budou se vektory sčítat geometricky a výsledný účinník odběru ze sítě nebude roven jedné.

### 3.3 Výpočet výchozích veličin vektorového diagramu

Uvedený výpočet je modelovým případem pro sestavení modelu v programu PSpice a vzorového normovaného vektorového diagramu (v měřítku) výchozí hodnoty:  $U_{sit} = 230$  V,  $I_{ZAT} = 20$  A.

Výpočet náhradního odporu zátěže:

$$R_{ZAT} = \frac{U_{sit}}{I_{ZAT}} = \frac{230}{20} = 11,5 \Omega \quad (3.2)$$

Výpočet náhradních parametrů sítě.

Výpočet provádíme pro nejhorší případ, tj., pro napájení bez příspěvu střídače. Předpokládá se napájení z transformátoru  $S_N = 100$  kVA,  $u_{k\%} = 4\%$

$$S_N = 3 \cdot U_{2N} \cdot I_{2N} \quad (3.3)$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{3 \cdot U_{2N}} = \frac{100 \cdot 10^3}{3 \cdot 230} = 144,93 \text{ A} \quad (3.4)$$

$$U_K = \frac{U_{2N} \cdot u_{k\%}}{100} = \frac{230 \cdot 4}{100} = 9,2 \text{ V} \quad (3.5)$$

$$Z_K = \frac{U_K}{I_{2N}} = \frac{9,2}{144,93} = 0,063 \Omega \quad (3.6)$$

Z praxe je obvykle poměr  $\frac{R}{X_L} = 0,1 \cong 0,2$ , většinou se odporová složka zanedbává.

$$\text{Volíme: } R = 0,1 \cdot X_L \Rightarrow X_L = 0,0626 \Omega$$

Náhradní indukčnost sítě:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,0626}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,199 \text{ mH} \quad (3.7)$$

Úbytky napětí v síťovém přívodu:

$$\Delta U_{R(s\check{r})} = R \cdot I_{s\check{r}} = 0,00626 \cdot 20 = 0,1252 \text{ V} \quad (3.8)$$

$$\Delta U_{X_L(s\check{r})} = X_L \cdot I_{s\check{r}} = 0,0626 \cdot 20 = 1,252 \text{ V} \quad (3.9)$$

Ideální napětí sítě:

$$U_1 = \sqrt{(U_{s\check{r}} + \Delta U_{R(s\check{r})})^2 + (\Delta U_{X_L(s\check{r})})^2} = \sqrt{(230 + 0,1252)^2 + 1,252^2} = 230,13 \text{ V} \quad (3.10)$$

Fázový posuv napětí v síti:

$$\delta_{s\check{r}} = \arccos \frac{(U_{s\check{r}} + \Delta U_{R(s\check{r})})}{U_1} = \arccos \frac{230 + 0,1252}{230,13} = 0,37^\circ \quad (3.11)$$

Náhradní parametry střídače.

S ohledem na zvlnění proudu volíme indukčnost filtrační cívky  $L_f = 8 \text{ mH}$ .

Reaktance filtrační cívky:

$$X_{L_f} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_f = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,008 = 2,512 \Omega \quad (3.12)$$

Úbytek na filtrační cívce 1. harmonické.

Uvažujeme nejhorší případ, kdy  $I_{STR} = I_{s\check{r}} = 20 \text{ A}$

$$\Delta U_{X_{L_f}} = X_{L_f} \cdot I_{STR} = 2,512 \cdot 20 = 50,24 \text{ V} \quad (3.13)$$

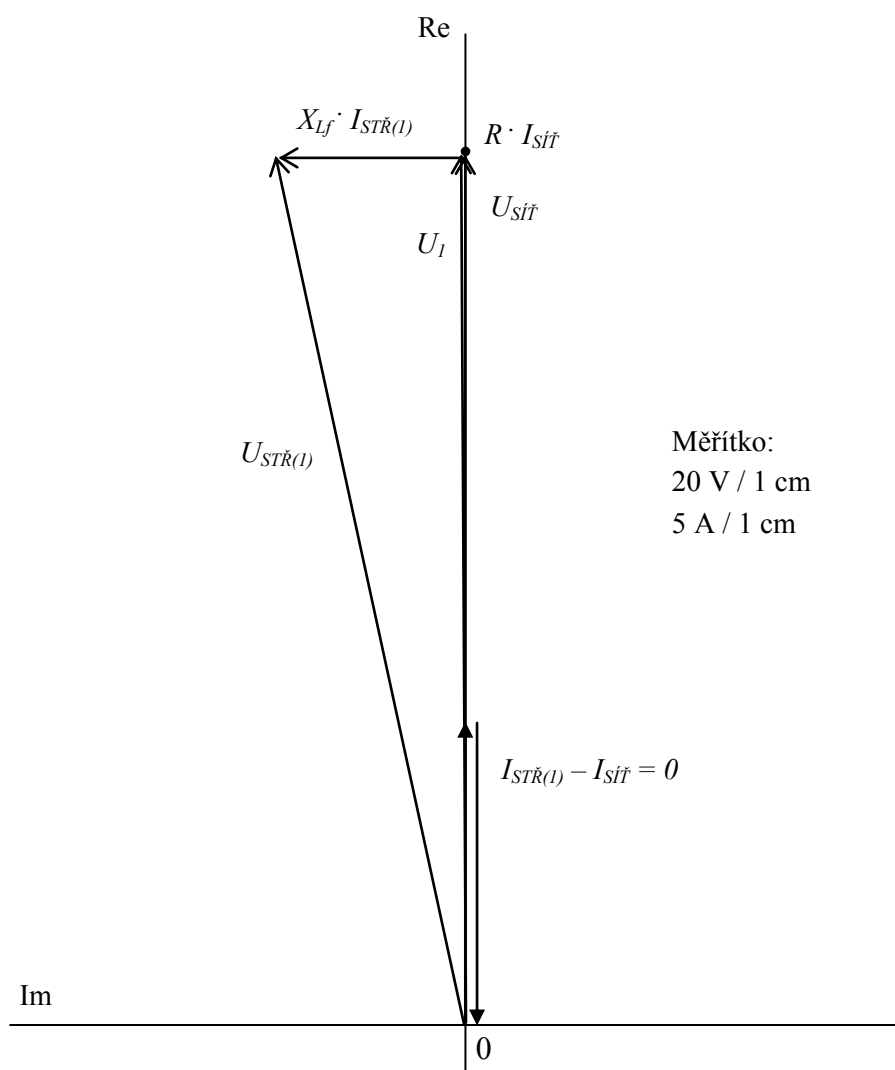
Činný odpor cívky zanedbáme.

Maximální napětí 1. harmonické střídače:

$$U_{ST\check{R}(1)} = \sqrt{U_{S\check{I}\check{T}}^2 + \Delta U_{X_{L_f}}^2} = \sqrt{230^2 + 50,24^2} = 235,42 \text{ V} \quad (3.14)$$

Fázový posuv napětí střídače:

$$\delta_{ST\check{R}(1)} = \arccos \cdot \frac{U_{S\check{I}\check{T}}}{U_{ST\check{R}(1)}} = \arccos \frac{230}{235,42} = 12,32^\circ \quad (3.15)$$



**Obr. 3.4** Vektorový diagram, stav nabíjení s podporou akumulace

## 4. Výsledky simulací

Pro ověření stavů aktivní nabíjecí stanice byly vytvořeny simulační numerické modely v prostředí programu OrCad PSpice 9. Tyto modely nebyly zaměřeny na modelování funkcí polovodičových spínačů a metod modulace, proto byly modely vytvořeny s využitím ideálních bloků a modelů z knihovny ANALOG, BREAKOUT, SOURCE. Touto koncepcí modelu se podstatně zkrátila výpočetní doba u obou dále popsaných modelů.

Jako spínač byl využitý blok ideálního spínače řízeného napětíovým vstupem, jehož rozsah úrovně vstupního napětí zároveň slouží jako komparátor v případě pulsně-šířkové modulace u modelování poměrů aktivní nabíjecí stanice.

Také ostatní obvody byly nahrazeny ideálními komponenty, jako např. napájení střídače zajišťují ideální zdroje napětí (bez vnitřního odporu), které jsou z důvodu jednoduchosti propojeny s výstupní soustavou, nebo propojení s generátory pulsů pro spínače rozděleny do symetrického zdroje s vyvedeným středem.

Dále jsou ke všem spínačům střídače paralelně připojeny omezovací RC členy, které by z principu ve schématu z ideálních součástek neměly být nutné, jejich použitím se však podstatně zvýšila úspěšnost simulací (stav, kdy simulace úspěšně proběhla v celém požadovaném intervalu). Poměrně značný vliv na stabilitu simulací mělo i propojení uzlu (středového bodu) stejnosměrných napětí s uzlem střídavých napětí v zátěži. Z pohledu vazby na reálné zařízení odpovídá velikost tohoto odporu (např.  $1\text{ M}\Omega$  u střídače s  $\psi=\pi$ ) přibližně velikosti izolačního odporu skutečné soustavy. Pokud však odpor ve schématu nebyl zapojen, simulace byly velmi nestabilní a obvykle neproběhly do konce.

Modelování poměrů bylo na základě předchozího rozboru zaměřeno do dvou oblastí.

Prvním úkolem bylo dokumentovat stavy střídače s řízením  $\psi=\pi$  pro různé fázové posuvy mezi první harmonickou napětí střídače a napětím v zátěži a dále namodelovat změny toku energie při změně velikosti napájecího napětí střídače při neměnném napětí v zátěži. Velikosti odporů a hlavně indukčností modelu byly voleny tak, abychom potvrdili teoretické rozborů v přecházejících kapitolách.

Ve druhém úkolu bylo provedeno namodelování srovnatelných stavů aktivní nabíjecí stanice s využitím jednoduché pulsně-šířkové modulace. Celé simulační schéma využívalo opět stejné principy, jako schéma předchozí pro řízení  $\psi=\pi$ . Snaha byla docílit stejné poměry, jaké vyplývají z obrázku na reálném vektorovém diagramu na obr. 3.4.

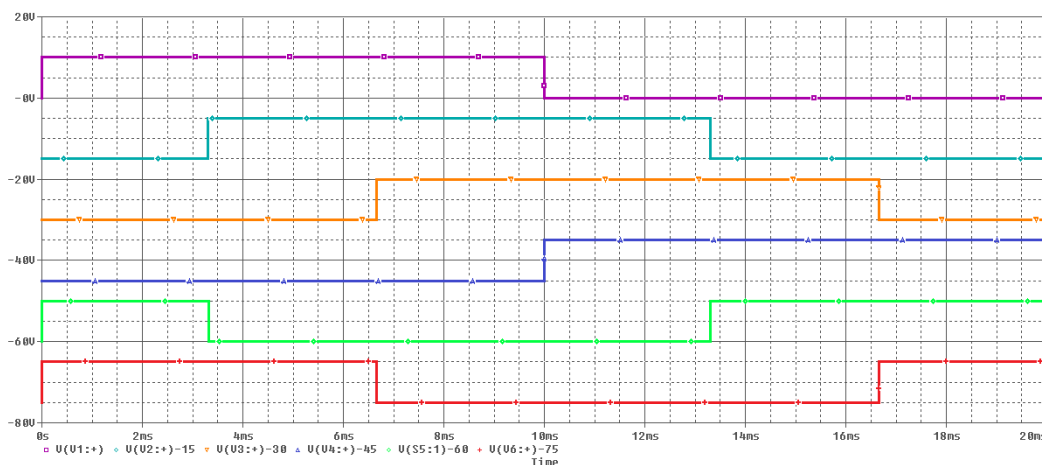
Velice jednoduše byl pro splnění tohoto úkolu vytvořen modulátor šířky pulsů, který byl vytvořen na principu součtu napětí společného generátoru pily s jednotlivými napětími zdrojů sinusových referenčních napětí každého spínače a komparace tohoto součtového napětí vstupem napětím řízeného spínače.

V tomto schématu jsou bezpečnostní prodlevy mezi spínáním horního a dolního spínače ošetřeny pouze hysterezí, která vzniká rozdílem úrovně pro zapínání a vypínání napětím řízeného ideálního spínače. V modelu však bylo ověřeno, že spínání spínačů nezpůsobuje zkratování stejnosměrného napájecího zdroje. V následující kapitole jsou uvedeny vybrané získané průběhy se stručným komentářem k dosaženým výsledkům.



#### 4.1 Střídač s $\psi=\pi$

Schéma pro modelování je uvedeno na obr. 4.2 na následující stránce. U tohoto střídače bylo zapotřebí vytvořit nejdříve generátor řídicích pulsů. Pro tento účel byly využity programovatelné zdroje impulsního napětí, které generují napětíové impulsy pro napětím řízené spínače. Protože se ve spínacím diagramu vyskytují u spínačů *S3* a *S6* pulsy spínačů, které jsou v průběhu periody rozděleny do dvou intervalů, je tato funkce zajištěna sériovým řazením dvou impulsních zdrojů. Funkčnost zdroje pulsů je dokumentována na obr. 4.1. Pro lepší zobrazení a lepší názornost jsou průběhy pouze pro zobrazení posouvány přičtením stejnosměrných napětí v násobcích 15 V. V obrázku tedy nejde o zobrazení analogových signálů (analogová je pouze informace, že řídicí pulsy mají rozkmit 0 – 10 V), ale hlavně o časovou návaznost pulsů.

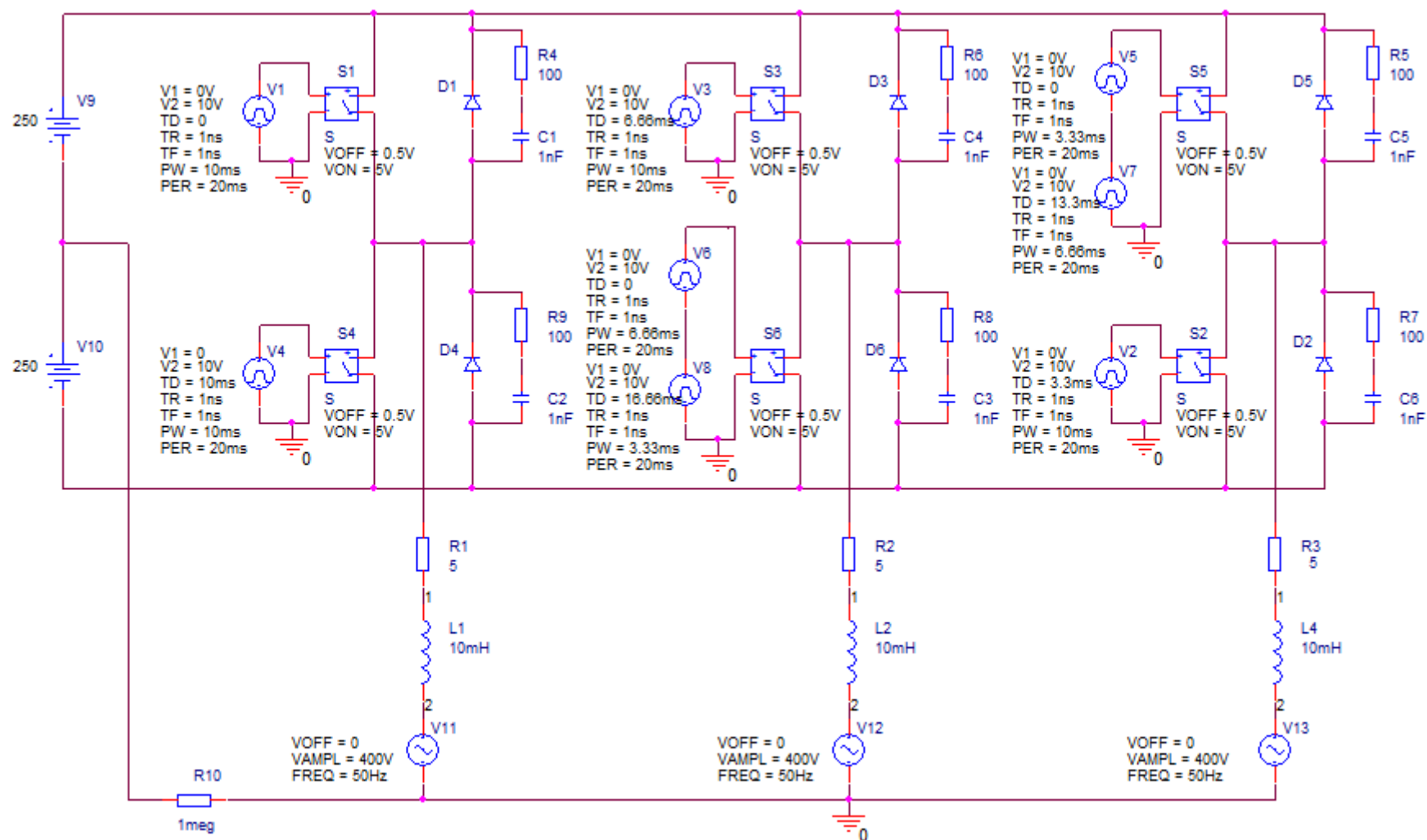


**Obr. 4.1** Spínací diagram střídače pro programový úhel  $\psi=\pi$

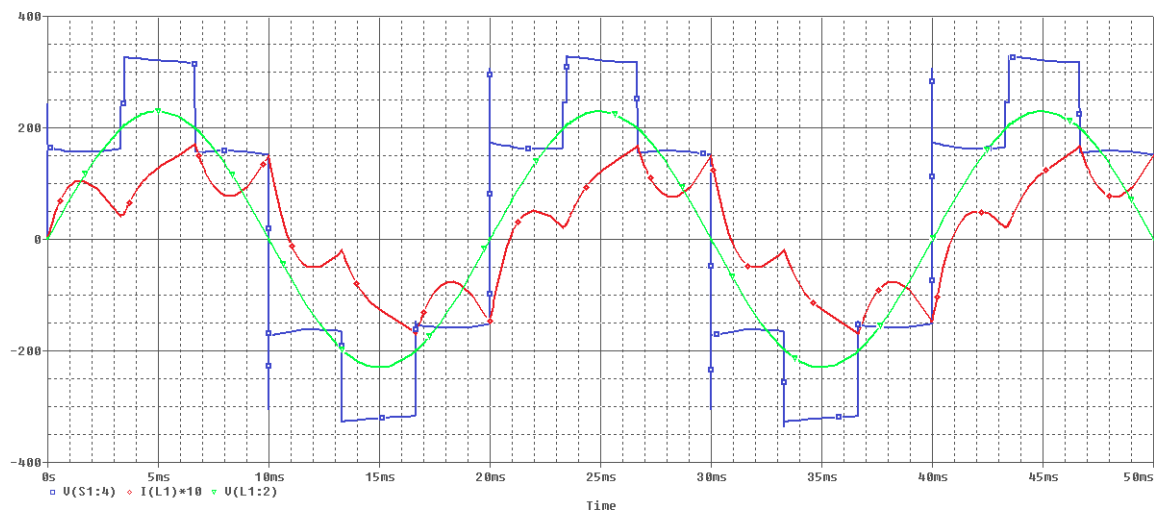
V následujících obrázcích obr. 4.3 až 4.7 dochází ke změně fázového posuvu mezi první harmonickou výstupního napětí střídače a sinusovým napětím zátěže nejprve tak, že se napětí zátěže zpožďuje za napětím střídače o úhel  $\delta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ , takže střídač pracuje stále ve střídačovém chodu. Na dalších dvou obrázcích napětí zátěže předbíhá napětí střídače o  $\delta = -15^\circ, -30^\circ$ , takže střídač se dostává do usměrňovačového režimu. Získané průběhy lze porovnat s teoretickými průběhy v kapitole 2 (obr. 2.5, 2.6) které byly získány z lit. [3]

Další část výsledků simulací na obr. 4.8 a 4.9 dokumentuje stavy při přechodu do usměrňovačového chodu, kdy se nemění fázové poměry mezi napětím střídače a napětím v zátěži, ale mění se amplituda napětí v zátěži. V tomto případě se napětí v zátěži zvýšilo ve dvou úrovních, nejdříve na amplitudu 350 V, ve druhém případě na velikost 400 V.

Při amplitudě 350 V již dochází k vyrovnání napětí střídače s napětím v zátěži, takže proud klesá k nule a výrazné zůstává pouze zvlnění proudu, které odpovídá schodovitému výstupnímu napětí střídače. Ve druhém případě již napětí zátěže výrazně převyšuje napětí střídače, takže proud obrací své znaménko a z průběhu je zřetelná protifáze proudu vzhledem k napětí střídače. Rovněž v tomto případě se dostal střídač do usměrňovačového režimu.



**Obr. 4.2** Matematický model střídače s programovým úhlem  $\psi = \pi$  vytvořený v programu OrCad

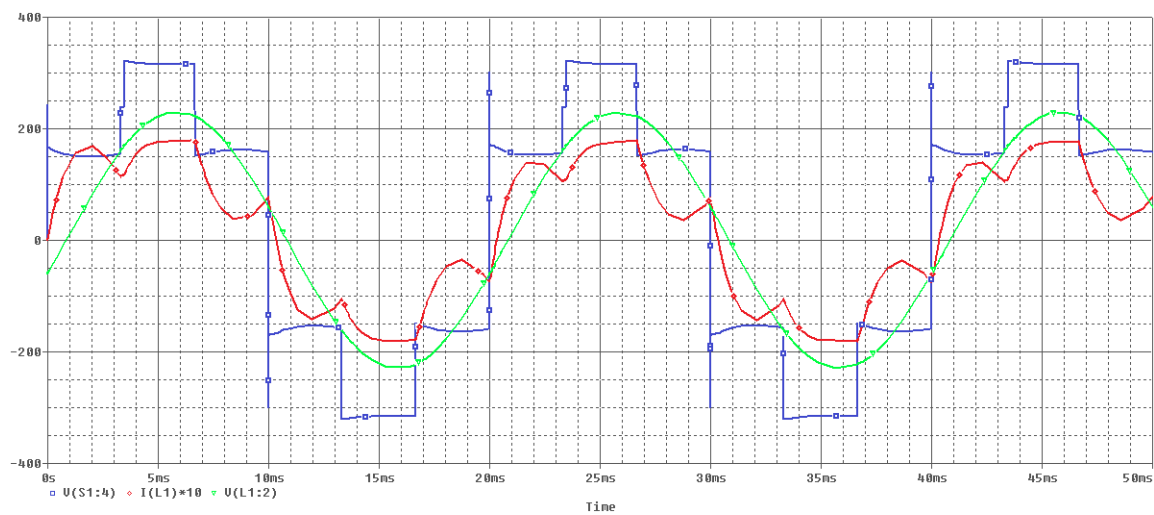


**Obr. 4.3** Průběhy napětí a proudu pro  $\delta = 0^\circ$

Modrá křivka – časový průběh výstupního napětí střídače

Zelená křivka – časový průběh napětí v zátěži

Červená křivka – časový průběh proudu zátěže

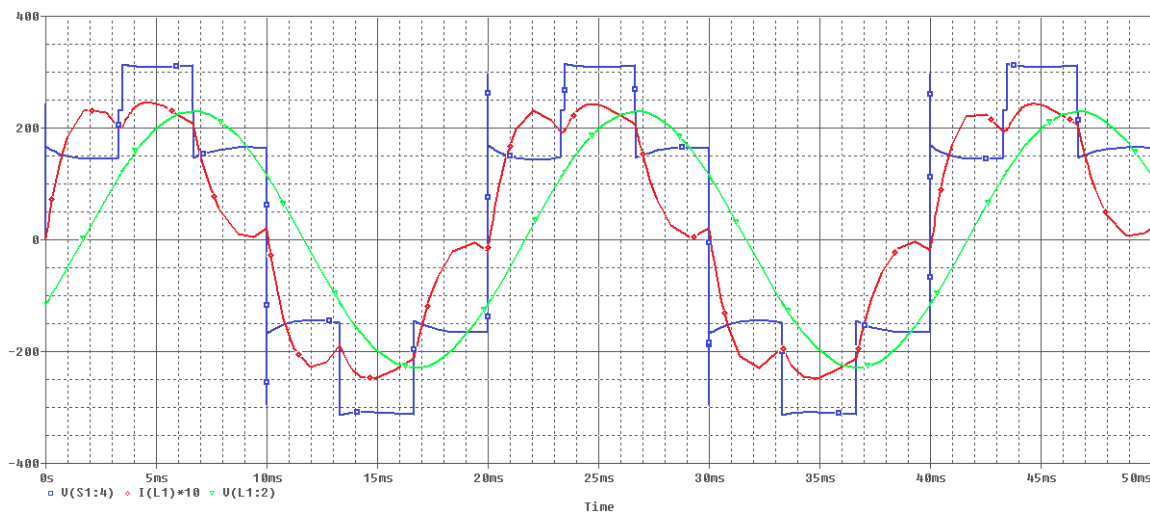


**Obr. 4.4** Průběhy napětí a proudu pro  $\delta = -15^\circ$

Modrá křivka – časový průběh výstupního napětí střídače

Zelená křivka – časový průběh napětí v zátěži

Červená křivka – časový průběh proudu zátěže

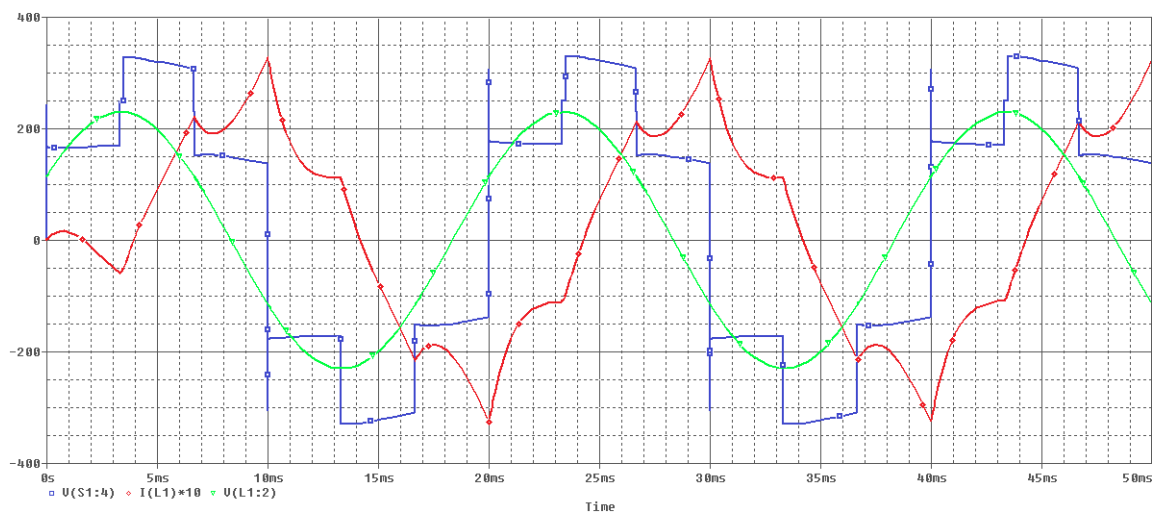


**Obr. 4.5** Průběhy napětí a proudu pro  $\delta = -30^\circ$

Modrá křivka – časový průběh výstupního napětí střídače

Zelená křivka – časový průběh napětí v zátěži

Červená křivka – časový průběh proudu zátěže

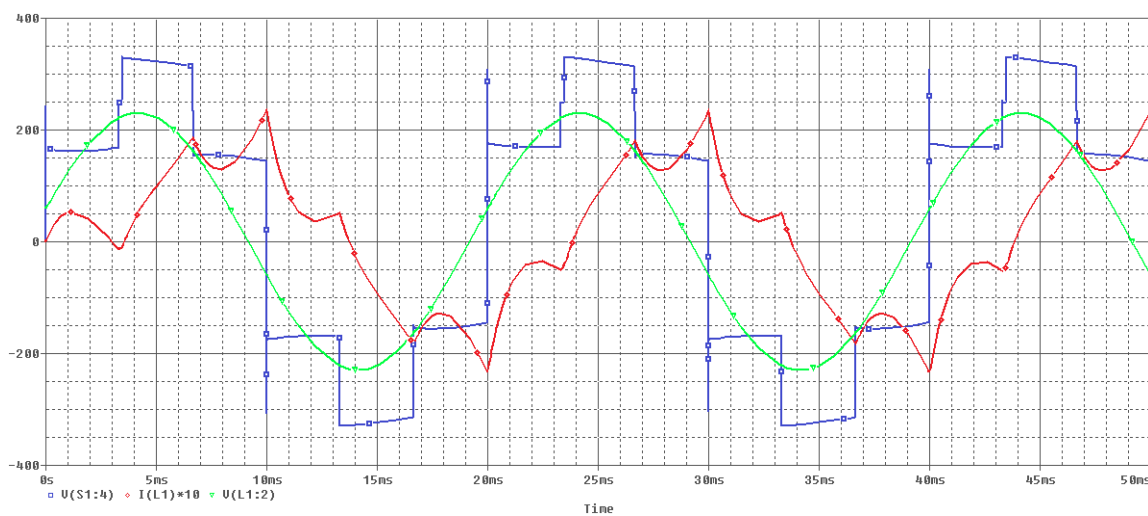


**Obr. 4.6** Průběhy napětí a proudu pro  $\delta = +30^\circ$

Modrá křivka – časový průběh výstupního napětí střídače

Zelená křivka – časový průběh napětí v zátěži

Červená křivka – časový průběh proudu zátěže

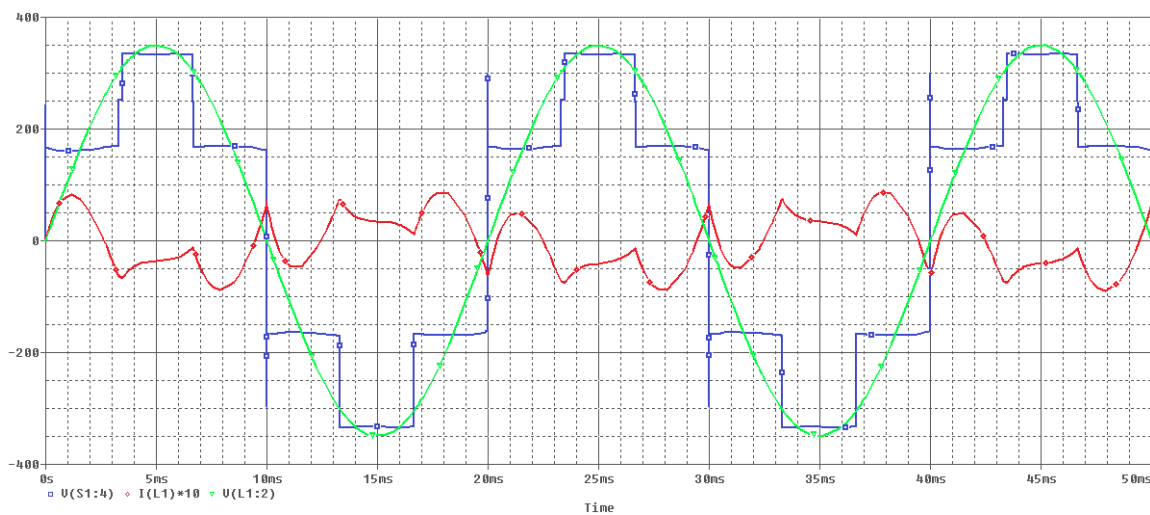


**Obr. 4.7** Průběhy napětí a proudu pro  $\delta = +15^\circ$

Modrá křivka – časový průběh výstupního napětí střídače

Zelená křivka – časový průběh napětí v zátěži

Červená křivka – časový průběh proudu zátěže

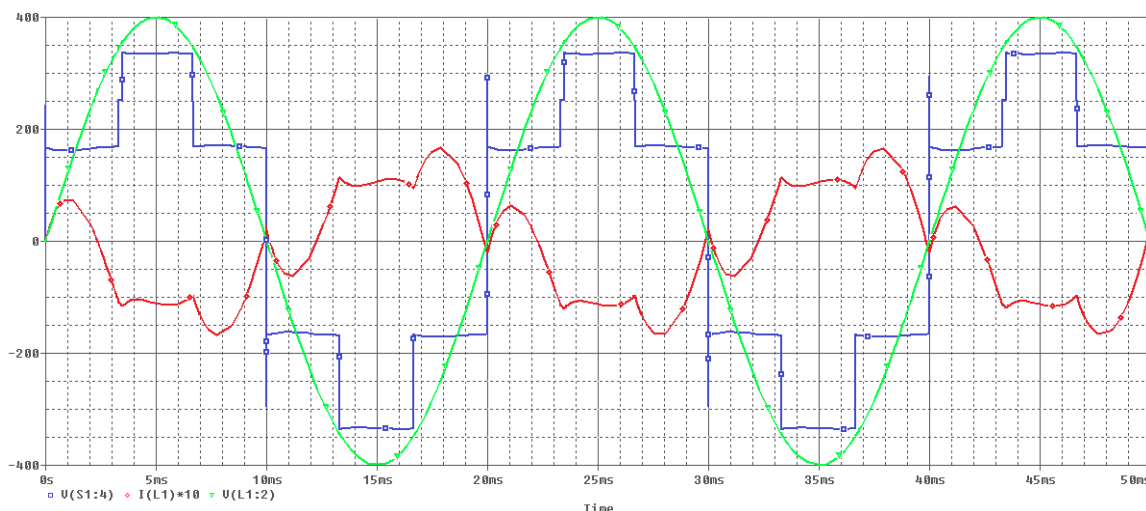


**Obr. 4.8** Průběhy napětí a proudu pro  $\delta = 0^\circ$  při změně amplitudy

Modrá křivka – časový průběh výstupního napětí střídače

Zelená křivka – časový průběh napětí v zátěži  $U_{max} = 350$  V

Červená křivka – časový průběh proudu zátěže



**Obr. 4.9** Průběhy napětí a proudu pro  $\delta = 0^\circ$  při změně amplitudy

Modrá křivka – časový průběh výstupního napětí střídače

Zelená křivka – časový průběh napětí v zátěži  $U_{max} = 400$  V

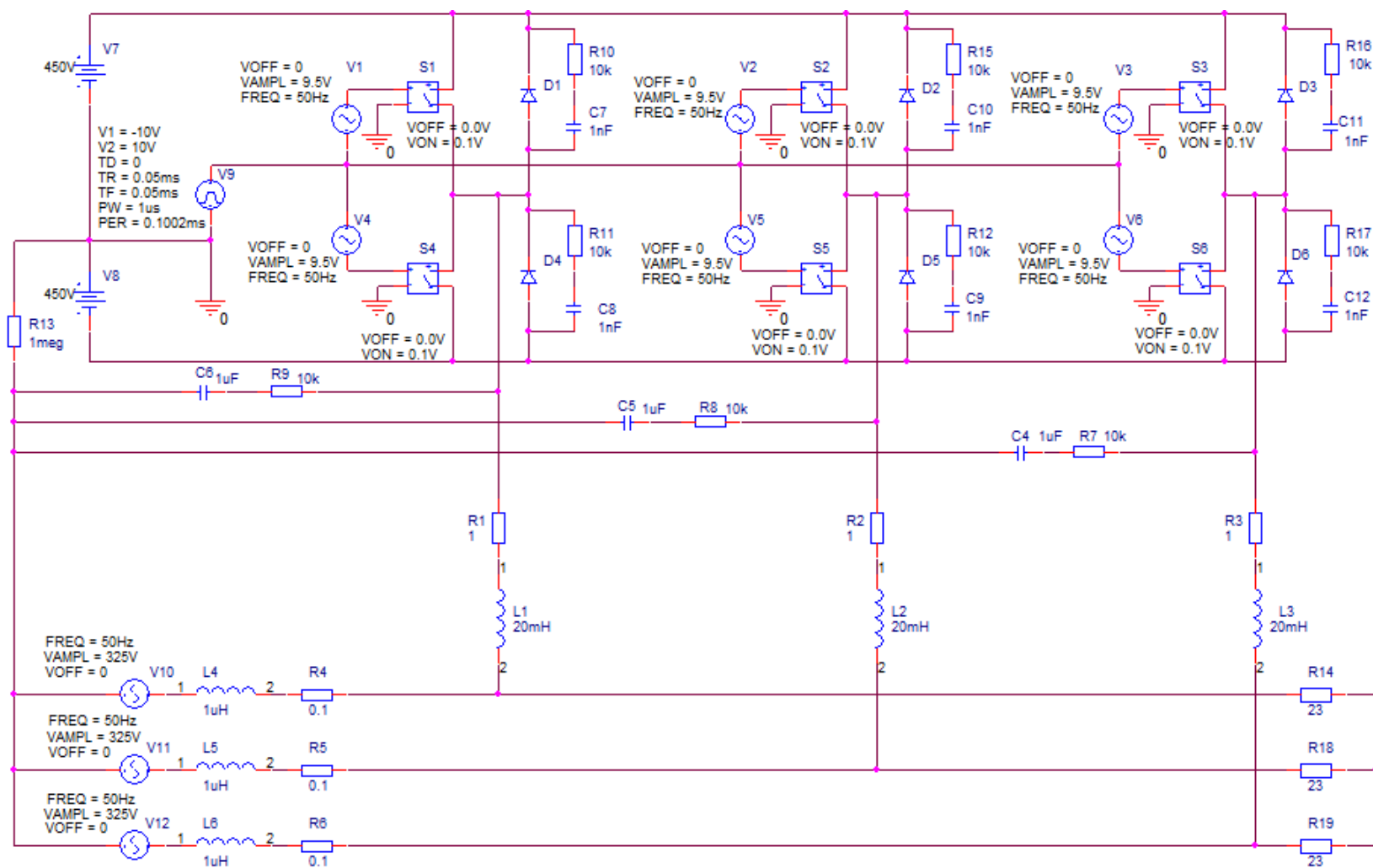
Červená křivka – časový průběh proudu zátěže

## 4.2 Aktivní nabíjecí stanice

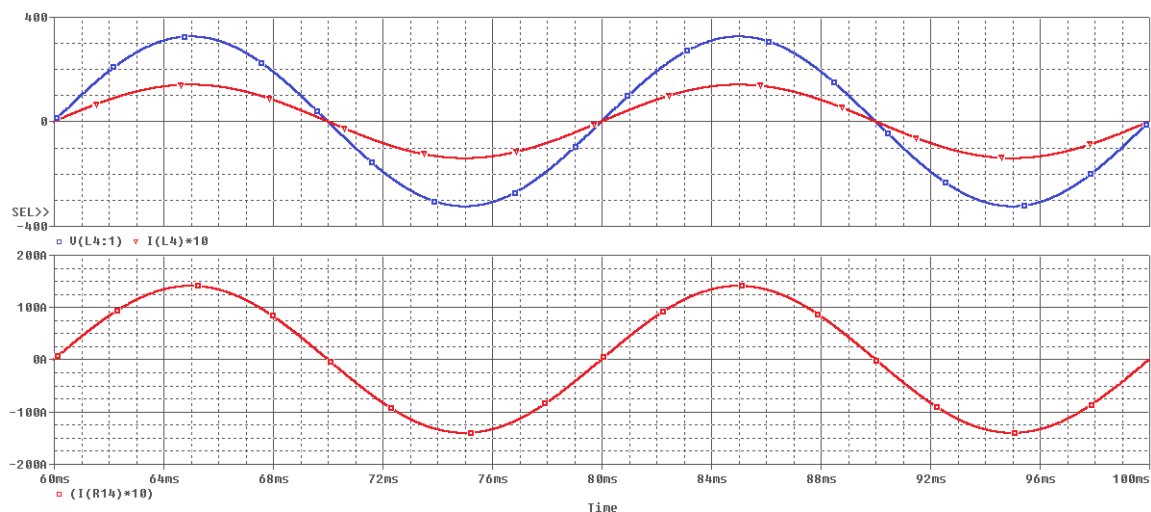
Schéma pro simulaci poměrů u aktivní nabíjecí stanice je zobrazeno na obr. 4.10. Pro jednoduchost je zátěž v daném případě nahrazena zátěží odporového charakteru, což neodpovídá plně skutečnosti. V reálné aktivní nabíjecí stanici by byl zřejmě využitý nabíječ automobilu s principem spínaného zdroje, takže zátěž stanice by vlastně tvořil diodový usměrňovač s filtračním kondenzátorem na výstupu. Toto schéma bylo také simulováno, ale výsledky simulací nedávaly průběhy, které by byly dost srozumitelné, proto vedoucí bakalářské práce rozhodl, že tento simulační model nebude do bakalářské práce zařazen.

Aby bylo možné provést srovnání grafických výsledků simulací, byl nejdříve odsimulován pouze jednoduchý základní obvod, ve kterém je střídač odpojen, a veškerý proud ze střídavého zdroje sítě protéká do zátěže, viz. obr. 4.11. Polarita i velikost proudu zdroje i zátěže se v každém okamžiku shodují.

Jak vyplynulo z předchozí simulace, aby mohlo dojít k toku energie v obou směrech při fázovém rozdílu proudů blízkému nule, bylo nutné zvýšit při síťovém napětí  $U_{sítě} = 230$  V, napětí stejnosměrného zdroje na součtové napětí 900 V. Velikost výstupního napětí střídače a tím i jeho proudu je v tomto případě určována velikostí a fázovým posuvem modulačního napětí v řídicím obvodu střídače. Dosažené výsledky jsou na obr. 4.12 a 4.13.



*Obr. 4.10 Matematický model aktivní nabíjecí stanice vytvořený v programu OrCad*

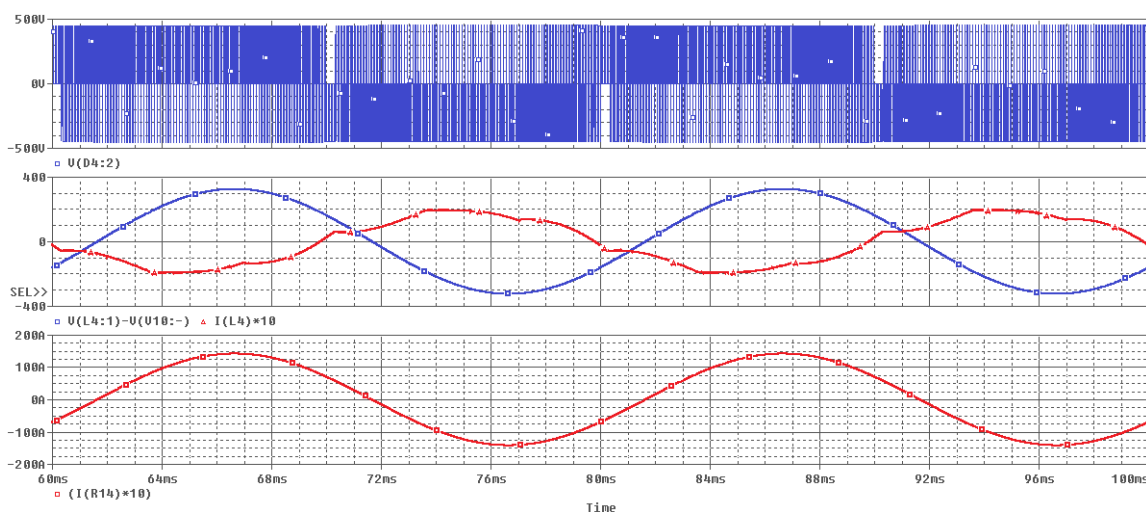


**Obr. 4.11** Stav nabíjení jen ze sítě

Horní obrázek : **Modrá křivka** – časový průběh napětí sítě

**Červená křivka** – časový průběh proudu sítě

Dolní obrázek : **Červená křivka** – časový průběh proudu zátěže



**Obr. 4.12** Stav nabíjení s podporou akumulace

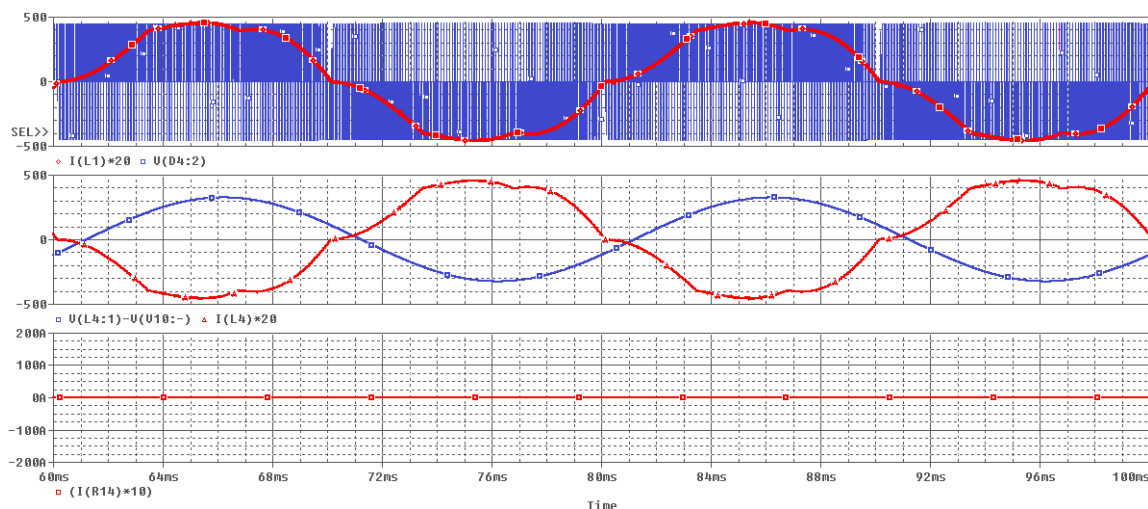
Horní obrázek : **Modrá křivka** – časový průběh napětí střídače

Střední obrázek : **Modrá křivka** – časový průběh napětí střídače

**Červená křivka** – časový průběh proudu sítě

Dolní obrázek : **Červená křivka** – časový průběh proudu zátěže





**Obr. 4.13** Stav kdy se veškerá energie vrací zpět do sítě

Horní obrázek : **Modrá křivka** – časový průběh napětí střídače

**Červená křivka** – časový průběh proudu střídače

Střední obrázek : **Modrá křivka** – časový průběh napětí sítě

**Červená křivka** – časový průběh proudu sítě

Dolní obrázek : **Červená křivka** – časový průběh proudu zátěže

Ze simulací vyplynulo, že vhodným řízením střídače dochází k řízení toku energie mezi stejnosměrnou soustavou střídače a sítě. Z obr. 4.12 je zřejmé, že proud zátěže je stále stejný, protože je určen téměř konstantním napětím sítě v uzlu, do kterého je připojena zátěž. Proud síťového zdroje však již mění svou polaritu vzhledem k obr. 4.11, tzn., že střídač již dodává energii nejen do zátěže, ale přispívá i malým proudem do sítě.

Z obr. 4.13 je zřejmé, že zátěž je odpojena (v případě simulace byl odpor zátěže zvýšen na hodnotu  $1\text{ M}\Omega$ ), takže proud zátěže je nulový a veškerý proud střídače protéká s opačnou polaritou do sítě. Tím je simulacemi potvrzen stav, kdy může dojít k navrácení energie ze stejnosměrného zdroje zpět do sítě.

## 5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo dokázat pomocí numerických simulací, že existuje možnost využití střídače jako měniče, který je schopen propojit stejnosměrnou soustavu akumulátoru aktivní nabíjecí stanice se střídavou sítí.

Proto byl v bakalářské práci proveden obecný úvod, který popisuje problematiku nabíjení elektromobilů v praktické rovině. Dále byla v práci poměrně podrobně analyzována činnost střídače při základním řídicím algoritmu, tj. při práci s programovým úhlem  $\psi=\pi$ . Byly popsány stavy při práci střídače se zátěží, ve které vnitřní střídavé napětí tvoří základní složku zátěže. Pomocí časových průběhů a vektorových diagramů byl popsán mechanismus obousměrného průchodu energie střídačem.

Získané poznatky byly převedeny na soustavu aktivní nabíjecí stanice, která byla zjednodušena pouze na průběhy všech zdrojů se základním sinusovým průběhem 1. harmonické. Pro toto zjednodušení byly vytvořeny vektorové diagramy, které posloužily k výpočtu velikosti hodnot pasivních prvků pro simulaci.

S využitím těchto hodnot byly vytvořeny dva simulační modely střídače. První pro řízení  $\psi=\pi$ , druhý pro střídač s pulsně šířkovou modulací, který byl paralelně připojen k nabíjecí síti. Z obou těchto schémat byly získány průběhy, které potvrzují teoretické předpoklady a dávají možnost ověřování i pro různé provozní stavy v praxi.

Zpracováním bakalářské práce jsem získala mnoho nových poznatků zejména o praktickém využití numerických simulací při řešení problematiky výkonových polovodičových systémů. Vlastní simulace také prohloubily mé znalosti z oblasti výkonové elektroniky, které jsem získala v průběhu studia.

## 6. Použitá literatura

- [1] Chlebiš, P.: Výkonová elektronika I. VŠB-TU Ostrava 2003
- [2] Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. VŠB-TU Ostrava 2008, ISBN 987-80-7225-291-6
- [3] Vondrášek, F.: Výkonová elektronika - měniče s vlastní komutací a bez komutace, svazek 3. Plzeň 2003, ISBN 80-7082-980-X
- [4] Katalog: Elektromobilita - Ekologická a ohleduplná cesta budoucnosti, Schrack Technik, 2011
- [5] <http://www.futuremotion.cz/cs/strategie-smery/elektromobilita.html>
- [6] <http://www.hybrid.cz/clanky/elektromobilita-skutecny-byznys-od-roku-2020>
- [7] [http://www.praha.eu/jnp/cz/home/doprava\\_v\\_praze/automobilova/praha\\_se\\_chysta\\_na\\_invazi\\_elektromobilu.html](http://www.praha.eu/jnp/cz/home/doprava_v_praze/automobilova/praha_se_chysta_na_invazi_elektromobilu.html)
- [8] [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=42017](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42017)
- [9] <http://energetik-vv.webnode.cz/chytre-site/>
- [10] <http://www.allforpower.cz/clanek/chytre-site-cez-v-realizaci-ve-vrchlabi/>
- [11] <http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/index.html>
- [12] <http://eon.energieplus.cz/cs/page/alternativni-energie/elektromobilita-ekologicka-doprava>
- [13] <http://elektro.tzb-info.cz/elektroenergetika/6647-elektricke-site-pro-prenos-energie>